Taguchi sensoren

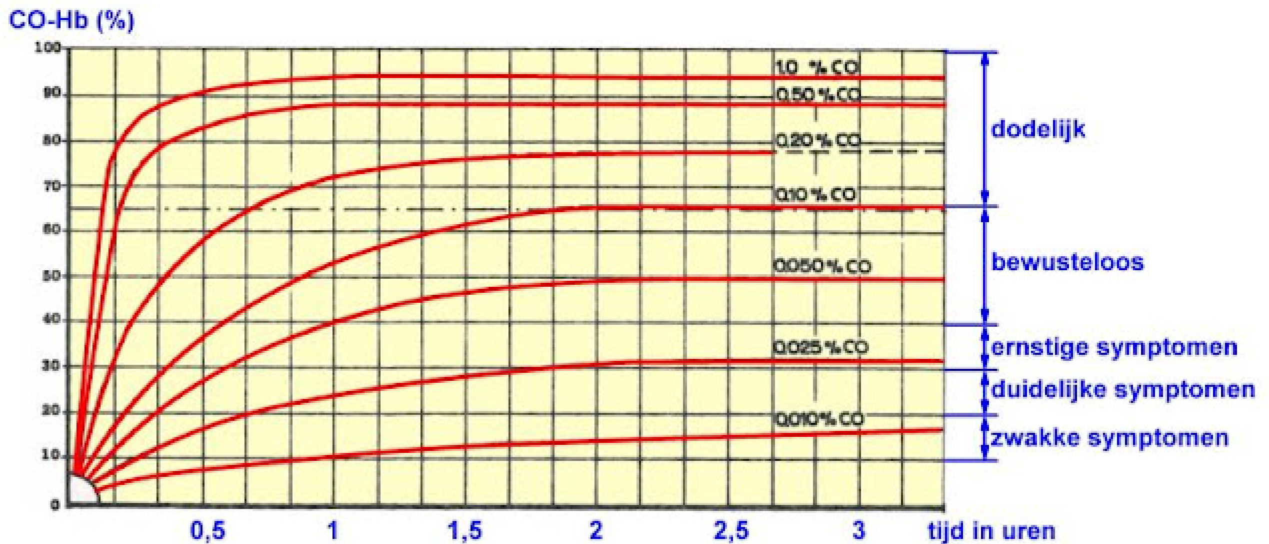
Taguchi-sensoren zijn bruikbaar voor het detecteren van gassen. Deze sensoren zijn ook uitstekend geschikt voor de detectie van rook, zodat u er niet alleen gas- en CO-alarmen mee kunt bouwen, maar ook brandmelders.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 23-03-2019

Noodzakelijke achtergrondinformatie

Detectie van schadelijke gassen van levensbelang
Af en toe kunt u in de krant trieste berichten lezen over gestikte mensen die hun woning verwarmden met houtkachels of allesbranders, of die om het leven kwamen door een gaslek in huis. Triest, omdat dergelijke ongevallen gemakkelijk en voor relatief weinig geld te voorkomen zijn. Er bestaan namelijk goedkope sensoren, die schadelijke gasvormige verontreiniging van de lucht onmiddellijk detecteren en waarmee u zeer eenvoudige alarmschakelingen kunt bouwen.

Koolstofmonoxide, de grote boosdoener
Een van de gevaarlijkste gassen die in uw huis kunnen ontstaan is koolstofmonoxide, met als chemische formule CO. Dit gas komt vrij bij onvolledige verbranding van organische materialen zoals steenkool, hout en aardolie. Het grote gevaar van dit gas is dat het reuk- en kleurloos is en dus niet wordt opgemerkt door uw zintuigen. Het CO-gas bindt zich zeer gemakkelijk aan de hemoglobine die in uw bloed zit en verhindert daardoor de normale opname van zuurstof door het bloed.
De gevolgen van koolstofmonoxide vergiftiging zijn misselijkheid bij zeer kleine concentraties tot dodelijke verstikking bij hoge concentraties. In de onderstaande grafiek zijn de gevolgen van het inademen van met koolstofmonoxide verontreinigde lucht getekend. De grafiek geeft het verband tussen de inademingsduur in uren (horizontaal) en de mate waarin CO in het hemoglobine wordt opgenomen (verticaal) voor verschillende CO-concentraties in de lucht. Hieruit blijkt dat zelfs bij een CO-concentratie in de lucht van slechts 0,025 % al na drie uur ernstige verschijnselen ontstaan en de CO-concentratie in het bloed is gestegen tot 30 %.



Verband tussen de inademingsduur van CO en de mate waarin dit gas in het bloed-hemoglobine wordt opgenomen. (© Gasstichting)

Andere gevaarlijke gassen
Maar daarnaast zijn er tal van andere gassen die ongewenst, schadelijk of brandbaar zijn en waarvan u dus graag de concentratie in uw huis wilt meten, zoals:

- Koolstofdioxide (CO_2).
- Propaan (C_3H_8).
- Butaan (C_4H_{10}).
- Methaan (CH_4).
- Ethaan (C_2H_6).
- Waterstof (H_2).
- Ethanol (C_2H_5OH).
- Aardgas (methaan + ethaan + propaan).

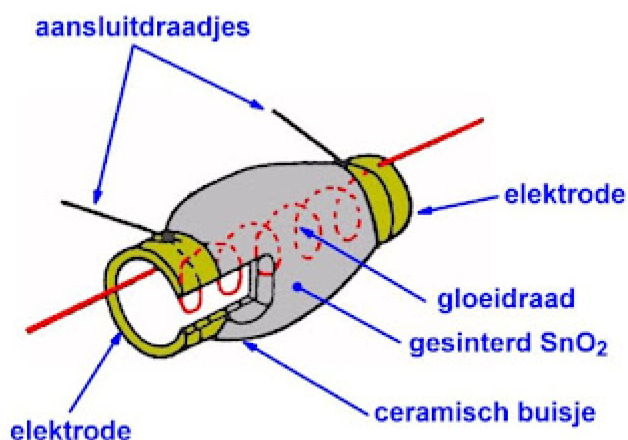
Een ideaal doe-het-zelf project
Vreemd is dat een heleboel elektronica doe-het-zelvers wél enthousiast knutselen met een inbraakalarm, maar dat maar weinig zelfgebouwde gasalarmen in gebruik zijn. En dat terwijl het bouwen van een gasalarm nog veel eenvoudiger is dan het aanleggen van een volledig inbraakalarm!

Taguchi-sensoren

Principiële werking
Taguchi-sensoren werken volgens een principe dat door de Japanse wetenschapper Naoyoshi Taguchi in 1968 werd ontdekt. Deze sensoren worden dan ook ***'TGS'*** genoemd, letterwoord voor ***'Taguchi Gas Sensor'***. Als men een laagje metaaloxide met N-materiaal doteert en dit laagje tot 100 à 300 °C verwarmt, dan stelt men vast dat de weerstand van de laag afhankelijk wordt van de samenstelling van de lucht.
Dit verschijnsel wordt veroorzaakt doordat het hete laagje zuurstof kan absorberen uit de omringende lucht. De mate van absorptie wordt echter verstoord als er in de lucht verontreinigde gassen aanwezig zijn. Dit verschijnsel wordt het ***'NPC-effect'*** genoemd, afkorting van ***'Negative Pollution Coëfficiënt'***. Hoe meer verontreiniging in de lucht, hoe lager de weerstand van het laagje wordt. De weerstandsvariatie tussen zuivere lucht en verontreinigde lucht kan een factor 20 bedragen. Afhankelijk van het soort oxide, de mate van dotering en de werktemperatuur kan men taguchi-sensoren maken die het gevoeligst zijn voor een specifiek gas. Er zijn sensoren in de handel voor koolmonoxide, ozon, alcohol, methaan, butaan, etc.

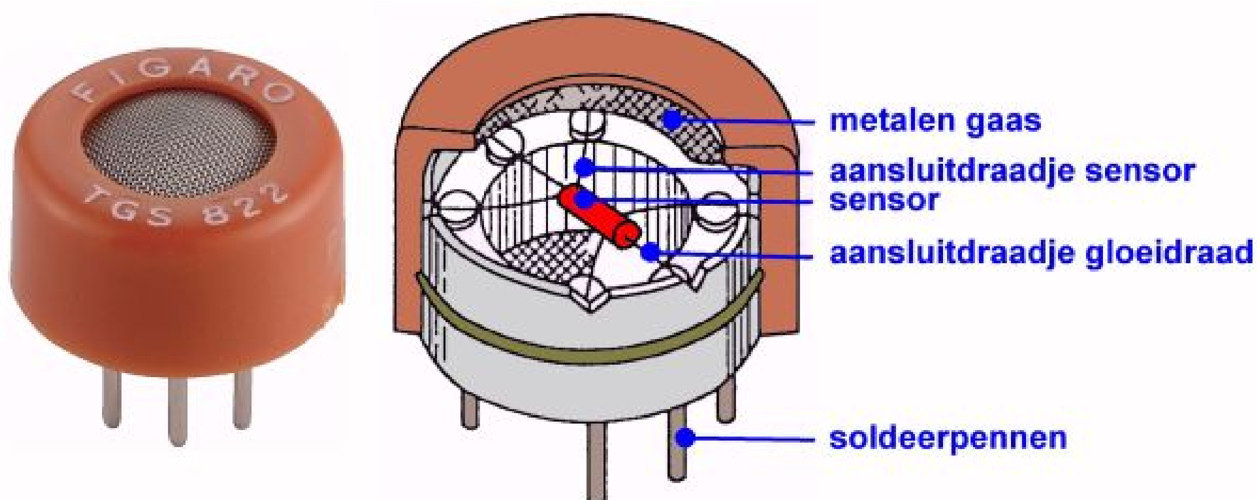
Belangrijke opmerking
Vanwege de grote absorptiecapaciteit van de sensor is deze ook zeer gevoelig voor gassen die u niet wilt meten. Een van de grote boosdoeners is waterdamp en u moet dan ook speciale maatregelen treffen om de in koude toestand geabsorbeerde watermoleculen te verwijderen. Een voor de hand liggende oplossing is de sensor continu, dus dag en nacht, met de voedingsspanning verbonden te houden.

De taguchi-sensor met enkele gloeidraad
De meest eenvoudige taguchi-sensor is getekend in de onderstaande figuur. De sensor is opgebouwd rond een verwarmingselement met een nikkelchroom gloeidraad. Rond dit element zit een ceramisch buisje, waarop de gevoelige laag is opgedampt. Beide uiteinden van deze laag worden met twee of vier elektroden verbonden met de pennen van de behuizing. Men kiest meestal voor vier elektroden, omdat dit een mechanisch steviger constructie waarborgt.



De samenstelling van een taguchi-sensor met enkele gloeidraad.
(© 2019 Jos Verstraten)

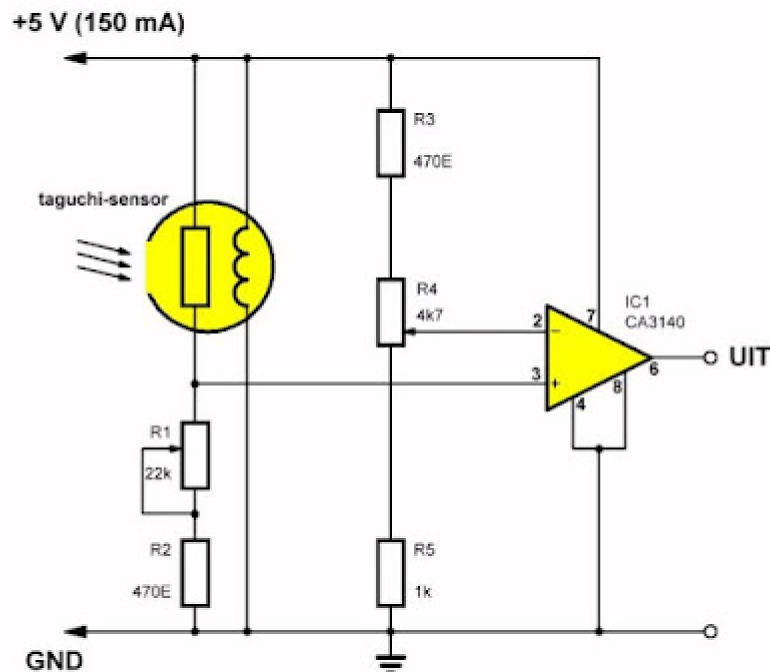
De praktische uitvoeringsvorm
Hoe zo'n sensor er in de praktijk uitziet is getekend in de onderstaande figuur. Het eigenlijke sensor-element is opgehangen in een cilindervormige behuizing, die aan de boven- en onderzijde open is. Op deze manier wordt gegarandeerd dat de te meten lucht vrij rond de sensor kan stromen. Vaak is in de behuizing een laagje actieve koolstof aangebracht, die de sensor minder gevoelig maakt voor stikstofverbindingen zoals NO en NO_2. Dit zijn namelijk onschadelijke gassen, waarvan het niet de bedoeling is de concentratie te meten. De meeste taguchi-sensoren met enkele gloeidraad hebben zes aansluitpennetjes, waarvan twee bedoeld zijn voor het voeden van de gloeidraad en de vier overige paarsgewijs met de uiteinden van de sensor verbonden zijn.



De praktische uitvoering van een taguchi-sensor

met enkelvoudige gloeidraad. (© 2019 Jos Verstraten)

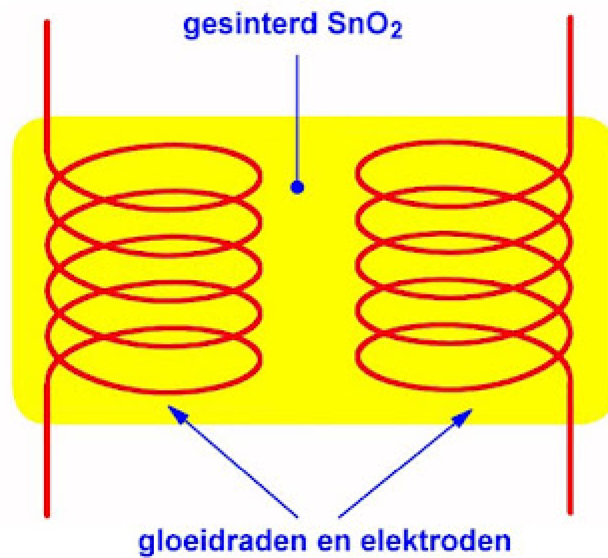
De basisschakeling van een enkeldraad sensor
In onderstaande figuur is het basisschema getekend voor het toepassen van een taguchi-sensor met enkele gloeidraad. Zoals te verwachten valt moet u het sensor-element opnemen in een serieschakeling met een vaste weerstand. Het sensor-element is niet gepoold, de werking is dus onafhankelijk van de stroomrichting. De spanning op het knooppunt is een maat voor de verontreiniging van de lucht. Deze spanning wordt in een als comparator geschakelde operationele versterker vergeleken met een referentiespanning. Met de twee instelpotentiometers kunt u de gevoeligheid van het systeem instellen. De gloeidraad wordt meestal gevoed met 5 V. Dat kan wissel- of gelijkspanning zijn.
Vanwege de lage voedingsspanning is de populaire op-amp LM741 niet bruikbaar en moet u een CA3140 toepassen.



De basisschakeling rond een taguchi-sensor met enkele gloeidraad.
(© 2019 Jos Verstraten)

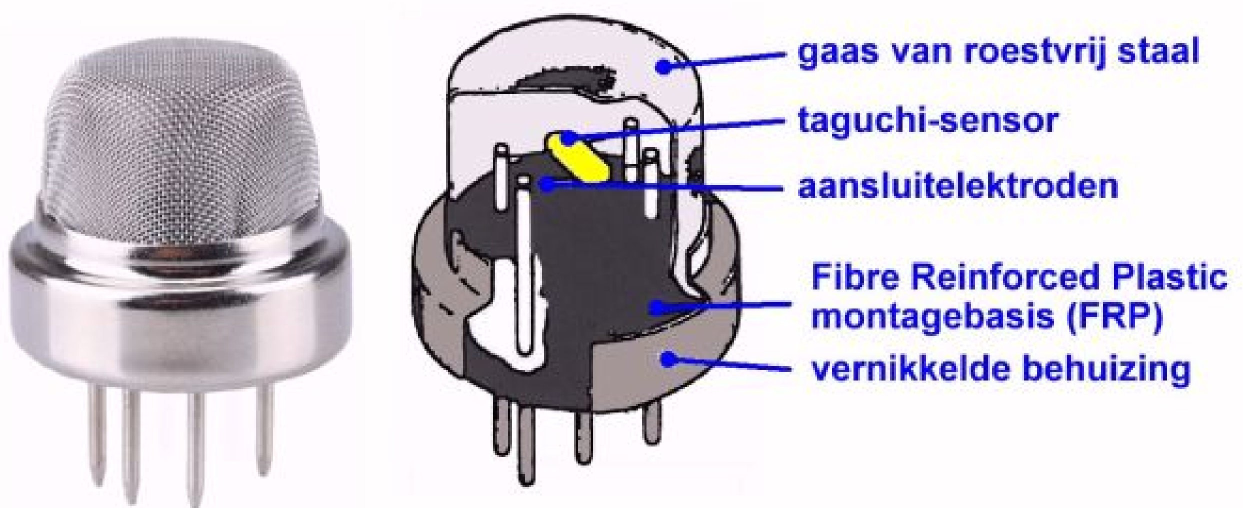
Opmerking
Sensoren met enkele gloeidraad zijn bedoeld voor continu-bedrijf. De gloeidraad moet dus dag en nacht onder spanning blijven staan. Bovendien moet deze spanning zeer constant zijn, omdat de weerstand van het sensor-element ook zeer afhankelijk is van de temperatuur. Vandaar dat men in de praktijk meestal met een gestabiliseerde gelijkspanning voedt. Compensatie voor schommelingen in de omgevingstemperatuur zijn echter niet noodzakelijk omdat het element op een werktemperatuur van ongeveer 300 °C staat.

De taguchi-sensor met dubbele gloeidraad
Voor sommige toepassingen worden sensoren gemaakt met twee gloeidraden. De opbouw van een dergelijke sensor is geschetst in de onderstaande figuur. De twee gloeidraden zijn nu ingegoten in een blokje basismateriaal. Het gevolg is dat de thermische tijdconstante veel groter wordt. De sensor is minder gevoelig voor variaties in gloeidraadspanning en reageert trager op plotselinge verontreinigingen van de lucht.



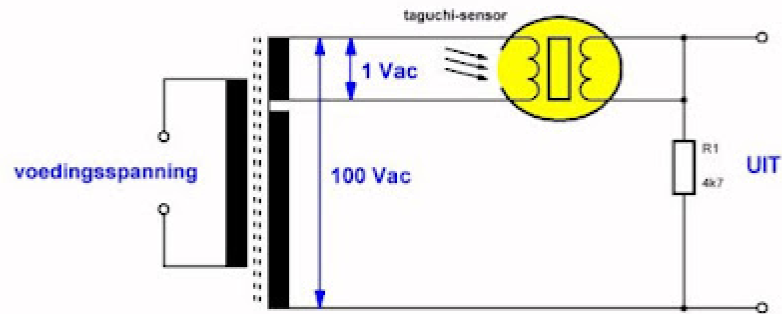
De samenstelling van een taguchi-sensor met twee gloeidraden. (© 2019 Jos Verstraten)

De praktische uitvoeringsvorm
In de onderstaande figuur is de mechanische constructie van een dergelijke sensor getekend. De behuizing heeft nu meestal slechts vier aansluitpennen, die verbonden zijn met de twee gloeidraden. De sensor hangt als het ware vrij in de lucht tussen deze vier pennen, zodat de omgevingslucht de sensor goed kan bereiken. De sensor wordt in de meeste gevallen ingebouwd in een gazen kooi van roestvrij staal, zodat de omgevingslucht zonder problemen in de behuizing kan binnendringen. De verwarming van de twee gloeidraden doet de rest, de lucht stroomt langs de sensor.
De aansluitingen van de gloeidraden hebben bij deze sensoren een dubbele functie. Enerzijds voeden zij de gloeidraden, anderzijds vormen zij de meetpunten waartussen u de weerstand van de sensor kunt meten. Een en ander heeft wel tot gevolg dat u ingewikkelder schakelingen nodig hebt om de sensor uit te lezen. In de meeste gevallen moet u de voedingsspanning van de gloeidraden uitschakelen als u de sensorweerstand wilt meten.



De mechanische constructie van een taguchi-sensor met twee gloeidraden. (© 2019 Jos Verstraten)

De basisschakeling van een dubbeldraad sensor
In onderstaande figuur is het basisschema rond een sensor met twee gloeidraden getekend. Sensoren met dubbele gloeidraad kunt u bijvoorbeeld toepassen in batterijgevoede apparatuur, die alleen wordt ingeschakeld als u een meting moet verrichten.

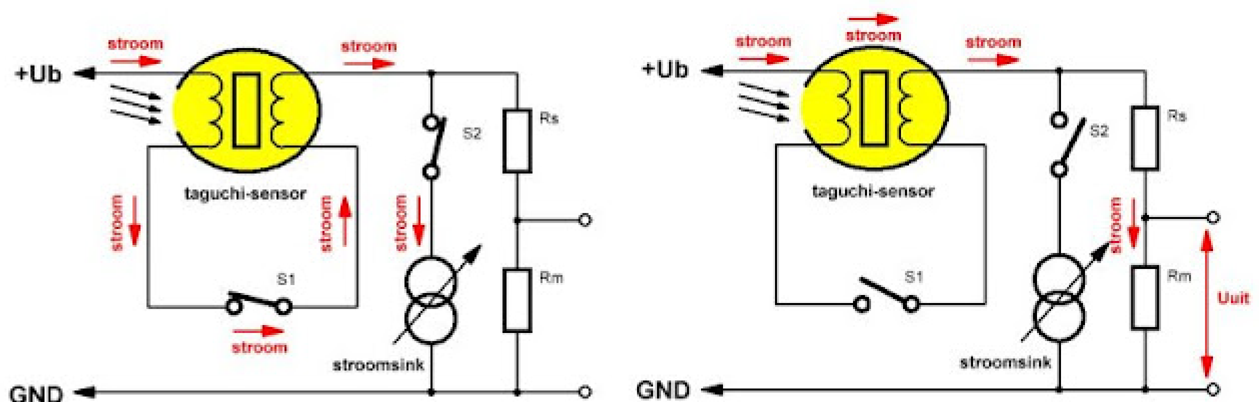


Basisschema rond een taguchi-sensor
met twee gloeidraden. (© 2019 Jos Verstraten)

De noodzakelijke meetcyclus
U moet dan onderstaande meetcyclus uitvoeren:
- Regenereren.
- Bedrijfstemperatuur instellen.
- Meten.

Het principeschema van een dergelijke meetcyclus is getekend in de onderstaande figuur. De twee gloeidraden worden via een elektronische schakelaar S1 in serie geschakeld. Via een tweede elektronische schakelaar S2 worden de gloeidraden verbonden met een stroomsink met twee bereiken.
De drie fasen in een meetcyclus verlopen als volgt:

- **Regenereren.**
  De twee schakelaars sluiten en de stroomsink wordt ingesteld op een grote stroom, waardoor het sensor-element tot een hoge temperatuur wordt verhit. In deze fase wordt het sensor-element *'schoongestookt'*. Watermoleculen, die zich in het koude element genesteld hebben, worden uit het element verdampt.
- **Bedrijfstemperatuur instellen.**
  In de tweede fase wordt de stroombron op een lagere stroom ingesteld, waardoor het sensor-element afkoelt tot de normale werktemperatuur. Deze fase duurt ongeveer anderhalve minuut.
- **Meten.**
  In de derde fase worden de twee elektronische schakelaars geopend. De stroom I moet nu via het element afvloeien, over de weerstand R_m wordt een spanning opgebouwd die recht evenredig is met de verontreiniging in de lucht. Deze spanning U_m wordt gemeten met een geijkte meter.



De meetcyclus voor het uitlezen van een batterijgevoede taguchi-sensor met dubbele gloeidraad.
(© 2019 Jos Verstraten)

Opmerking
Ook sensoren met dubbele gloeidraad kunnen uiteraard gebruikt worden in apparatuur die steeds onder spanning staat. Het is dan niet noodzakelijk de beschreven ingewikkelde cyclus

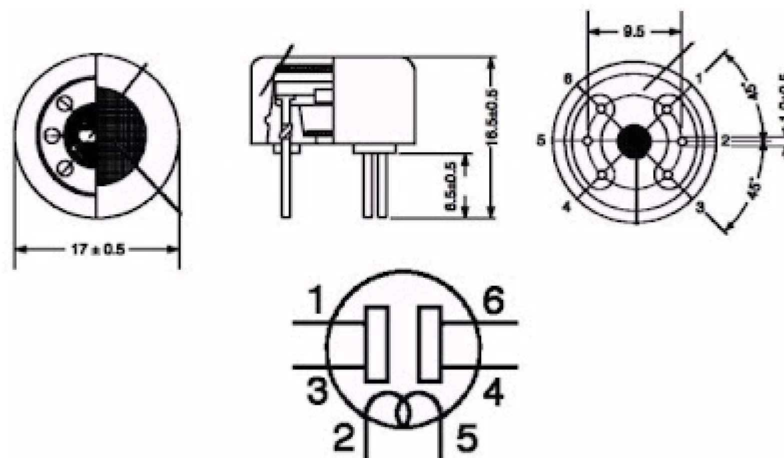
te doorlopen. Wel is het dan vrij ingewikkeld om de weerstand tussen de onder spanning staande gloeidraden netjes te meten.

Inbranden van nieuwe sensoren
Een nieuwe, ongebruikte taguchi-sensor is verzadigd met allerlei gassen, waarvan waterdamp wel de voornaamste is. Alvorens u een dergelijke nieuwe sensor kunt gebruiken moet deze *'ingebrand'* worden. Dat betekent dat u de gloeidraden van de kale sensor drie dagen op de bedrijfsspanning moet aansluiten, waardoor alle gassen verdampen en de sensor klaar is voor gebruik.
Hetzelfde verhaal is van toepassing als u een sensor lang niet gebruikt hebt. Ook dat wordt het ceramisch materiaal verzadigd met allerlei gassen en moet u de sensor weer inbranden. Vandaar dat wordt aanbevolen schakelingen zo te ontwerpen, dat de gloeidraad continu onder spanning blijft staan.

Goedkope taguchi-sensoren van Figaro

De TGSxxx serie
Het is voornamelijk de fabrikant Figaro, die zich in de vorige eeuw gespecialiseerd heeft in het ontwerp en de productie van dergelijke onderdelen. Dank zij dit merk zijn taguchi-sensoren betaalbaar geworden voor de knutselaar. Er zijn dan ook diverse bouwpakketjes met deze sensoren op de markt gebracht. De meeste van deze goedkope taguchi-sensoren werken met enkele gloeidraad. Dergelijke sensoren worden gekenmerkt door de typecodering TGSxxx, waarbij xxx staat voor een typenummer. De sensoren onderscheiden zich van elkaar in hun specifieke gevoeligheden voor verschillende soorten gas.

Aansluitgegevens en behuizing
Alle sensoren van de TGS-reeks met enkele gloeidraad hebben een identieke behuizing en identieke aansluitgegevens. Deze zijn samengevat in de onderstaande figuur.

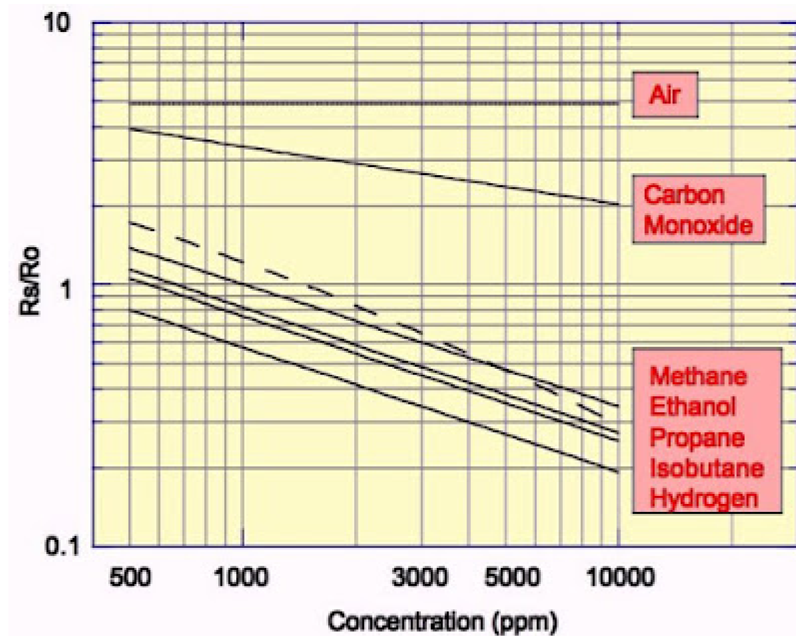


De aansluitgegevens en de behuizing van de TGSxxx sensoren van Figaro met enkele gloeidraad. (© Figaro)

Beperkte leverbaarheid
Helaas zijn van de meer dan tien verschillende soorten TGSxxx-sensoren die door Figaro ontwikkeld zijn de meesten niet courant leverbaar. Er zijn slechts twee typen die goedkoop bij de bekende onderdelenleveranciers (google ook op Chinese leveranciers!) te koop zijn: de TGS813 en de TGS822.
De TGS813
Deze taguchi-sensor is te koop voor ongeveer € 6,00 en is voornamelijk gevoelig voor de gassen methaan, propaan en butaan. Deze sensor is dus uitstekend in te zetten als u een alarm voor lekkages van aardgas of flessengas wilt bouwen.
Deze sensor heeft de onderstaande specificaties:

- **Voedingsspanning gloeidraad:** 4,8 V ~ 5,2 V (AC of DC)
- **Weerstand van de gloeidraad:** 27,0 Ω ~ 33,0 Ω
- **Vermogensverbruik bij 5,0 V:** 835 mW typisch
- **Spanning over de sensor:** 24 V_{dc} max.
- **Belastingsweerstand:** 450 Ω min.
- **Sensorweerstand:** 5 kΩ ~ 15 kΩ

In de onderstaande grafiek is de gevoeligheid van deze sensor weergegeven. De R_s/R_o-verhouding geeft de weerstandsvariatie weer van de sensor bij een bepaalde concentratie gas vergeleken met de weerstand bij een concentratie van 1.000 ppm van het gas methaan.



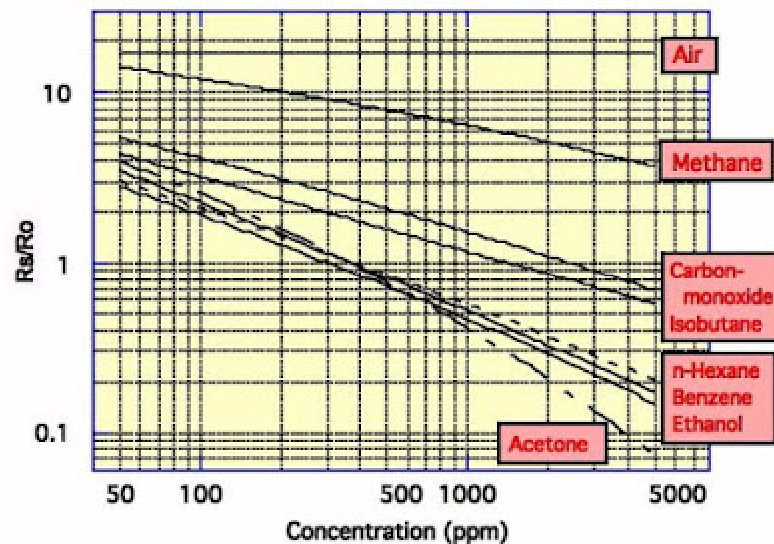
De gevoeligheid van de TGS813. (© Figaro)

De TGS822

Deze taguchi-sensor is te koop voor prijzen vanaf € 5,50 en is, behalve gevoelig voor koolwaterstoffen, ook bruikbaar voor het detecteren van koolstofmonoxide.
Deze sensor heeft de onderstaande specificaties:

- **Voedingsspanning gloeidraad:** 4,8 V ~ 5,2 V (AC of DC)
- **Weerstand van de gloeidraad:** 35,0 Ω ~ 41,0 Ω
- **Vermogensverbruik bij 5,0 V:** 660 mW typisch
- **Spanning over de sensor:** 24 V_{dc} max.
- **Belastingsweerstand:** 450 Ω min.
- **Sensorweerstand:** 1 kΩ ~ 10 kΩ

In de onderstaande grafiek is de gevoeligheid van deze sensor weergegeven. Nu geeft de R_s/R_o de weerstandsvariatie weer van de sensor bij een bepaalde concentratie gas vergeleken met de weerstand bij een concentratie van 300 ppm van het gas ethanol.



De gevoeligheid van de TGS822. (© Figaro)

Goedkope taguchi-sensoren van Hanwei

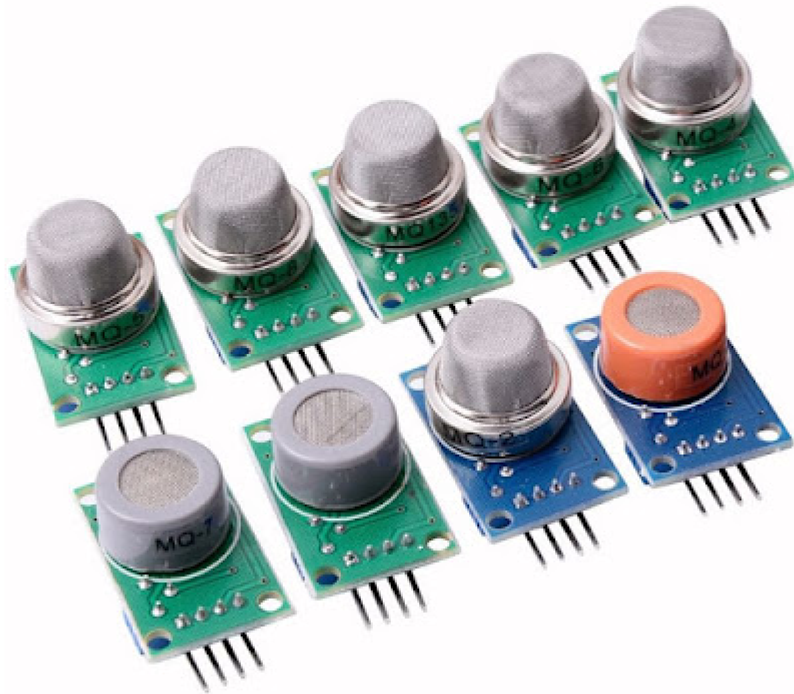
Klonen van Figaro
De Chinese fabrikant Hanwei heeft een serie klonen van de Figaro-sensoren op de markt gebracht. Deze sensoren worden voor vaak belachelijk lage prijzen (minder dan één euro!) door de bekende Chinese postorderbedrijven aangeboden. Deze sensoren worden gekenmerkt door de productcode MQ-xxx. De diverse modellen hebben hun hoogste gevoeligheid voor de onderstaande gassen:

- **MQ-2:** allerlei verbrandingsgassen in het bereik van 300 ppm ~ 1.000 ppm
- **MQ-3:** alcohol
- **MQ-4:** methaan en aardgas
- **MQ-5:** LPG en aardgas
- **MQ-6:** aardgas en LNG
- **MQ-7:** koolstofmonoxide
- **MQ-8:** waterstof
- **MQ-9:** koolstofmonoxide
- **MQ-131:** ozon
- **MQ-135:** ammoniak, sulfide en benzeen dampen

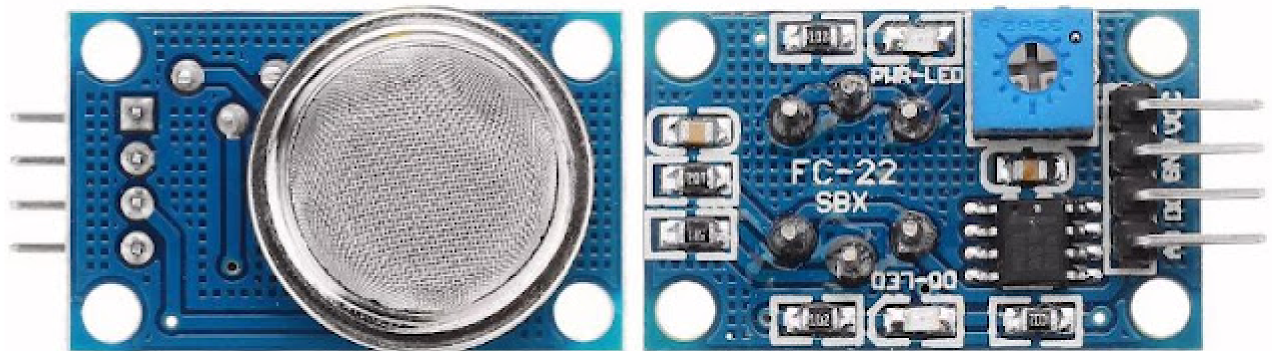


De MQ-xx sensoren van Hanwei. (© Aliexpress)

Kant en klare modules
De meeste Chinese leveranciers bieden de MQ-sensoren aan onder de vorm van kant en klare modules. In de meeste gevallen zit er op deze een paar euro kostende printjes zelfs een volledige elektronische schakeling. Deze levert een direct bruikbare gelijkspanning af die proportioneel is met de gemeten gasconcentraties. Er zijn echter zoveel van dergelijke modules in omloop dat er geen beginnen aan is deze te bespreken. Het komt er dus op een uitgebreid te gaan googlen en de specificaties van de aangeboden modules grondig te vergelijken.



Modules met de MQ-xx sensoren van Hanwei. (© Amazon)



Voor- en achterzijde van een MQ-2 module. (© Banggood)

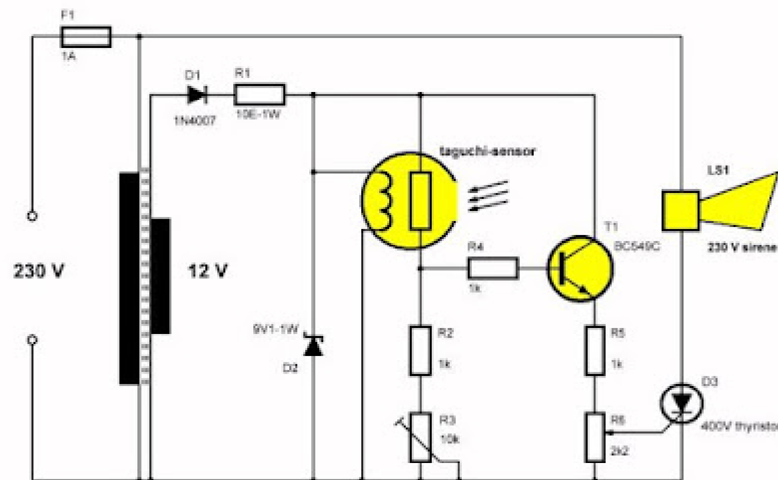
Zelfbouw met taguchi-sensoren

Inleiding
Taguchi-sensoren zijn ideale onderdelen voor de zelfbouwer. De werking van het onderdeel is gemakkelijk te doorgronden en het aansturen en uitlezen van de sensoren vereist eenvoudige elektronica. In de volgende paragrafen wordt een aantal schema's beschreven, bij elkaar verzameld uit de applicaties van de fabrikanten.

Opmerking
De voorgestelde schakelingen moet u beschouwen als ideeën voor het aansturen van uw zelfbouw. Afhankelijk van het type taguchi-sensor dat u in de schakeling gebruikt zult u bepaalde onderdelen andere waarden moeten geven. Experimenteren, dus!

Netgevoede brandmelder met sirene
In de onderstaande figuur wordt een taguchi-sensor gebruikt in een eenvoudige brandmelder. De brandspanning van de gloeidraad wordt op een hogere waarde dan normaal ingesteld om de gevoeligheid voor de specifiek in deze toepassing te detecteren gassen te verhogen. De spanning op het knooppunt van de sensor en de weerstand R2 wordt via een transistor

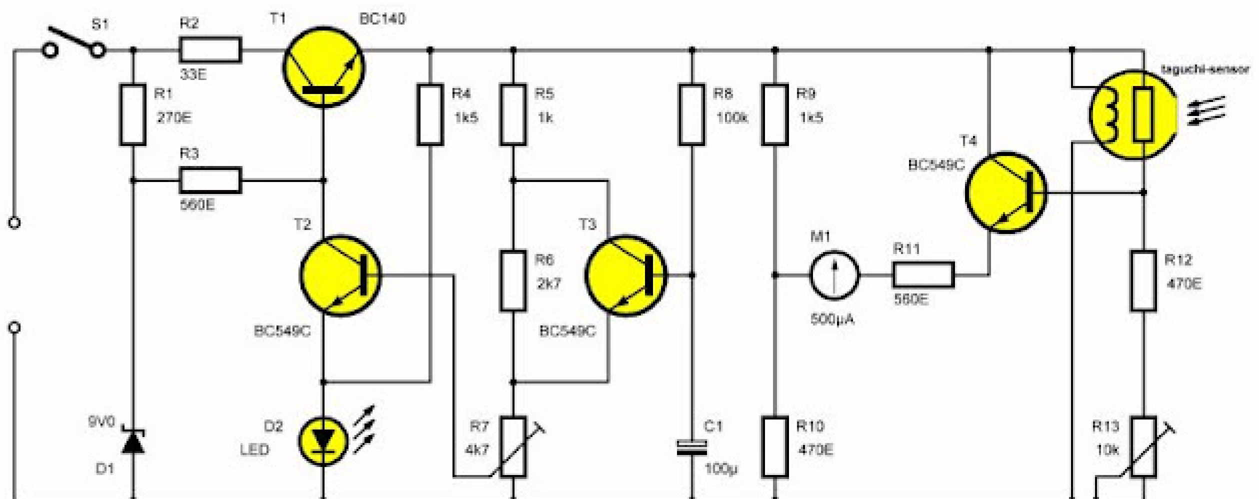
versterkt en stuurt de gate van de thyristor. Met de potentiometer R3 in de gateleiding kunt u de gevoeligheid van de schakeling instellen. Als de schakeling afgaat wordt de thyristor gestuurd en deze zal de 230 V sirene continu aansturen. Dit alarm kunt u uitsluitend uitschakelen door de netspanning te onderbreken.



Een eenvoudige brandmelder die rechtstreeks uit het 230 V net wordt gevoed. (© 2019 Jos Verstraten)

Gassen meten in het motorcompartiment van vaartuigen

De schakeling van de onderstaande figuur is ontworpen voor inbouw in het motorcompartiment van vaartuigen. Op een draaispoelmeter wordt de concentratie aan verbrandingsgassen in de motorruimte weergegeven. Het grootste deel van de schakeling maakt uit de variërende accuspanning een goed gestabiliseerde spanning voor het voeden van de sensor. Door de tijdvertraging R8/C1 in de basis van de transistor T3 wordt de gloeispanning van de sensor na het inschakelen enige tijd vergroot om het onderdeel te regenereren. De uitlezing is een brugschakeling, waarbij de spanning op het knooppunt van sensor en potentiometer R13 van 10 kΩ vergeleken wordt met een referentiespanning die geleverd word door de spanningsdeler van 1,5 kΩ en 470 Ω (R9-R10).



Een accugevoede schakeling voor gebruik in de motorruimte van een boot. (© 2019 Jos Verstraten)

Een relais sturen met een taguchi-sensor

In het onderstaande schema wordt een sensor gebruikt voor het activeren van een relais. Om de opwarmingsperiode te overbruggen wordt gebruik gemaakt van een als monostabiele multivibrator geschakelde timer IC3 van het type 555. Deze levert, na het inschakelen van de voeding, een puls met een breedte van 1.400 ms. Deze zorgt via de poorten uit IC2 ervoor dat het uitgangssignaal van de comparator IC1 (CA3140) gedurende de instabiele opwarmingsfase van de sensor niet kan doordringen tot de relaistrap.



Een taguchi-sensor schakelt een relais. (© 2019 Jos Verstraten)

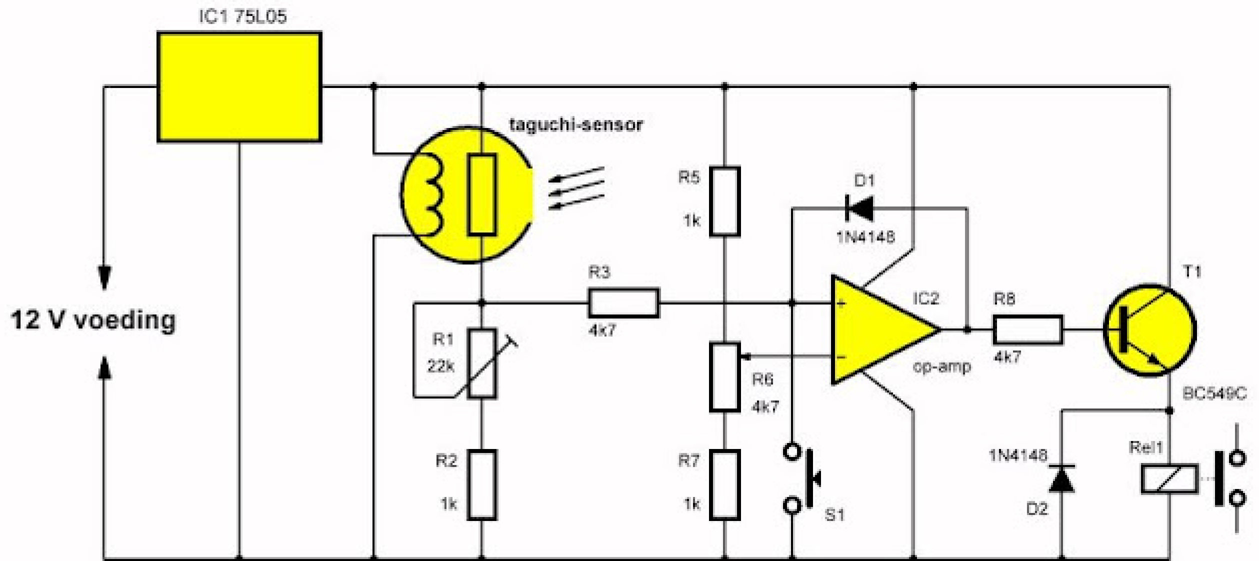
Een analoge verontreinigingsmeter
In de onderstaande figuur is een eenvoudige analoge verontreinigingsmeter voorgesteld. De uitgangsspanning van de sensor wordt in een brugschakeling vergeleken met de spanning op de loper van de instelpotentiometer R9. Hiermee kunt u de naald van de meter op geen uitslag afregelen in zuivere lucht. Door middel van de omschakelaar S2 kunt u de spanning van de batterij testen. Deze schakelaar staat in het schema in de stand *'batterijtest'*.



Een schakeling met analoge meter met nulpuntinstelling voor ijking op 0 % in zuivere lucht. (© 2019 Jos Verstraten)

Een schakeling met geheugen

Het schema van de onderstaande figuur geeft een schakeling met een geheugenfunctie. De comparator IC2 heeft nu een terugkoppeling onder de vorm van de diode D1. Als de sensor zoveel spanning afgeeft dat de comparatoruitgang naar 'H' omklapt, zal deze hoge spanning via de diode teruggekoppeld worden naar de niet-inverterende ingang van IC2. Het gevolg is dat de uitgang van de comparator 'H' blijft, ook al valt de sensorspanning onder de drempelwaarde. Het alarm kan gereset worden door het indrukken van S1. Hierdoor gaat de niet-inverterende ingang naar de massa, de comparatoruitgang wordt 'L' en de terugkoppeling via de diode D1 wordt verbroken.



Een taguchi-sensor gebruikt in een comparatorschakeling met geheugenfunctie zodat het alarm aan blijft ook als de luchtverontreiniging weer daalt. (© 2019 Jos Verstraten)